

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.01.012

江苏省淮河流域水功能区达标评价及限排总量

刘方圆¹, 梁忠民¹, 张建华², 王 嵘², 刘俊杰³

(1. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 2. 江苏省水利厅 水资源处, 南京 210029;
3. 江苏省水文水资源勘测局, 南京 210029)

摘要: 选取氨氮和高锰酸盐指数作为双指标, 采用测次法对江苏省淮河流域 2012 年的水功能区达标情况进行了评价。结果表明, 湖泊型水功能区达标率远高于河流型水功能区; 地区之间达标率差异较大, 徐州地区达标率较低。根据水功能区现状入河排污量和纳污能力, 提出了规划水平年(2020年、2030年)纳污红线的限制排污总量分别为: 2020年 COD 4.35 万 t, 氨氮 0.43 万 t; 2030年 COD 3.20 万 t, 氨氮 0.25 万 t。

关键词: 江苏省; 水功能区; 测次法; 纳污能力; 限排总量

中图分类号: X832 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)01-0051-04

Standard achievement evaluation of water function zones and total limited pollution in the Huaihe River Basin of Jiangsu Province

LIU Fang yuan¹, LIANG Zhong-min¹, ZHANG Jian hua², WANG Rong², LIU Jun-jie³

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Jiangsu Provincial Bureau of Water Resources, Nanjing 210029, China;

3. Jiangsu Provincial Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China)

Abstract: NH₃-N and (COD)_{Mn} were selected to evaluate the standard level of water function zones in the Huaihe River Basin of Jiangsu Province based on the time measuring method. The results showed that the standard achievement rates of the lake water function zones are much higher than those of river water function zones, and the rates vary significantly in different regions with Xuzhou having the lowest rate. According to the volume of swage and water resources carrying capacity in the water function zones, the total allowable pollutants discharged in the planning years (2020 and 2030) were estimated as 43.5 thousand tons COD and 4.3 thousand tons NH₃-N in year 2020, and 32 thousand tons COD and 2.5 thousand tons NH₃-N in year 2030.

Key words: Jiangsu Province; water function zone; times measuring method; water resources carrying capacity; total allowable pollutants discharged

近年来,水质污染已经成为制约我国社会发展的重要因素^[1],因此在2011年国家提出了最严格的水资源管理制度,而落实此制度的关键是组织开展水功能区达标评估和排污总量控制^[2]。

目前,国内对于水质评价的方法众多,朱叶华等^[3]采用综合水质指数法对长江的水质进行了评价,得出铅、粪大肠菌群、总磷为主要污染因子;燕敏飞等^[4]采用熵权法和可变模糊集理论对大连市地下水进行评价,认为熵权法和可变模糊集理论相结合的评价结果较为合理;对于流域或区域水功能区达标评价研究主要以水体污染物监测指标为依据,采用

测次法^[5]或平均值法^[6]对水功能区进行定量评价。根据评价区域水体污染情况、水体的功能用途、地方监测技术、监测能力等,合理选择主要污染物指标^[7];流域或区域水功能区达标评价主要评价水功能区总体及各分类达标比例,达标比例可按个数达标率和河长(面积)达标率两种方法来评价^[8]。现阶段研究主要集中在达标比例评价上,在达标情况空间分布定量研究方面涉及较少,无法为水质综合治理提供足够的科技支撑。对水功能区纳污能力的研究,除水域纳污能力计算规程外,一些学者也对具体地区作了相应的研究,徐智廷等^[9]利用S-P水质概化模型对临沂市水功能区的纳污能力

收稿日期: 2014-07-02 修回日期: 2014-10-27 网络出版时间: 2014-12-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1409.033.html>

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目“气候变化对黄淮海地区水循环的影响机理和水资源安全评估”(2010CB951102)

作者简介: 刘方圆(1989-),女,江苏淮安人,主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: fangyuan0607@126.com

通讯作者: 梁忠民(1962-),男,辽宁凤城人,教授,博士生导师,从事水文水资源方面的研究。E-mail: zmliang@hhu.edu.cn

进行了定量分析研究,柯斌樑^[10]对浙江省的不同水体采用不同模型,核定了浙江省水功能区纳污能力。林金^[11]采用 MIKE11 模型对台州市水域纳污能力进行了应用研究。此外,随着《关于实行最严格水资源管理制度的意见》提出确立水功能区限制纳污红线,迫切需要开展基于纳污红线的限制排污规划。本文以江苏省淮河流域片区为研究对象,开展水功能区达标评价及空间分布研究,不仅提供达标定量指标,还提供达标情况空间分布结果,并在此基础上开展了基于限制纳污红线的规划年限限制纳污能力研究,研究成果对未达标水功能区综合分析科学制定治理对策具有重要参考价值。

1 研究方法

1.1 单个水功能区达标评价

水功能区水质评价的主要依据为《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)^[12]和《地表水资源质量评价技术规程》(SL 395-2007)^[13]中指标标准值和评价方法。本文采用测次法进行研究区单个水功能区达标评价研究,其基本原理如下。

(1) 水功能区单次水质类别评价。

对监测断面每次监测数据的 i 个评价项目分别按照《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) 确定各项目水质类别,确定水质类别中最差的为水体本测次水质类别。

(2) 水功能区单次达标评价。

将单次水功能区的水质类别与水质目标进行比较,优于或等于水质目标则本次水质评价为达标,否则不达标。

(3) 年度水质类别评价。

年度水质类别取各测次所确定水质类别的平均值。

(4) 水功能区年度达标评价。

年度水功能区达标评价中,达标率 $e \geq 80\%$ 时水功能区达标,否则不达标。年度水功能区达标率为

$$e = \frac{G}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中: e 为年度水功能区达标率; G 为年度水功能区达标次数; N 为年度水功能区评价次数。

1.2 流域或区域水功能区达标评价

流域或区域水功能区达标评价是在单个水功能区年度达标评价的基础上进行的,主要对流域或区域水功能区达标比例评价。达标比例评价可按个数进行评价;也可按水体类型进行评价,河流类按河长进行评价,如式(2),湖库类按面积进行评价,如式(3)。

$$e_1 = \frac{N_d}{N_m} \times 100\% \quad (2)$$

式中: e_1 为按个数统计的区域水功能区达标率; N_d 为区域水功能区达标个数; N_m 为区域水功能区总个数。

$$e_2 = \frac{L_d}{L_m} \times 100\% \quad \text{或} \quad \frac{S_d}{S_m} \times 100\% \quad (3)$$

式中: e_2 为按河长或面积统计区域水功能区达标率; L_d 、 S_d 分别为区域水功能区达标河长或达标面积(km 或 km²); L_m 、 S_m 分别为区域水功能区总河长或总面积(km 或 km²)。

本研究中,每个水功能区只选择了一个代表断面,若代表断面水质达标则认为该代表断面所在水功能区所有河段或湖库区域水质全部达标,若代表断面水质不达标则整个水

功能区水质皆不达标。

1.3 水功能区纳污能力及限排总量评价

水域纳污能力是指在设计水文条件下,满足水域水质目标要求,水域容纳某一污染物的最大数量。

本研究根据水功能区水质目标及其影响,对不同水功能区采用不同方法确定其规划年限限制入河排污量。对于保护区和饮用水源区,应严格禁止排污;保留区、缓冲区、渔业用水区和过渡区,限制入河排污量取现状污染物入河量和纳污能力之间的较小值;对于其他水功能区,取现状污染物入河排污量和规划年限纳污能力之间的某一控制量作为规划年限限制入河排污量。如下式

$$W = \begin{cases} 0 & \left\{ \begin{array}{l} \text{保护区} \\ \text{饮用水源区} \end{array} \right. \\ \text{Min}(R, M) & \left\{ \begin{array}{l} \text{保留区} \\ \text{缓冲区} \\ \text{渔业用水区} \\ \text{过渡区} \end{array} \right. \\ R \text{ 和 } M \text{ 之间某一值} & \left\{ \begin{array}{l} \text{工业用水区} \\ \text{农业用水区} \\ \text{景观娱乐用水区} \\ \text{排污控制区} \end{array} \right. \end{cases} \quad (4)$$

式中: W 为水功能区限制排污量; R 为水功能区现状污染物入河排污量; M 为水功能区规划年限纳污能力。

2 研究实例

2.1 区域简介

江苏省淮河流域地势平坦,河湖众多,总面积为 6.35 万 km²,其中水面面积约占 13.2%,总河长 2 203.2 km,区划湖库面积 4 348.7 km²。流域内的重要河流/湖泊水功能区共 101 个,其中缓冲区 4 个、保留区 6 个、保护区 40 个,饮用水源 13 个、农业用水区 19 个、工业用水区 4 个、渔业用水区 2 个、景观娱乐用水区 4 个、过渡区 5 个、排污控制区 4 个^[14]。水功能区空间分布见图 1。



图 1 水功能区分布

Fig. 1 Distribution of water function zones

2.2 代表断面的选择

研究区氨氮排放量远远超出受纳水体的环境容量,而高锰酸盐指数是反映水体中有机及无机可氧化物质污染的常用指标,因此,本次评价指标选用氨氮和高锰酸盐指数(简称双指标)。通过这两个指标所确定水功能区代表断面的水质

类别来评价水功能区达标情况。代表断面的选择原则如下。

(1) 只有一个水质断面的水功能区,以该断面的水质数据作为水功能区的水质代表值。

(2) 有两个或多个水质监测代表断面的水功能区。

a. 有多个水质监测代表断面的缓冲区,以淮河流域环境监测中心监测的省界控制断面监测水质数据作为水质代表值。

b. 有多个水质监测代表断面的饮用水源区,以水质最差断面的水质数据作为水质代表值。

c. 有两个或两个以上代表断面的其它水功能区,以代表断面水质浓度的加权平均值或算术平均值作为水功能区的水质代表值。加权时,河流应以流量或河流长度作权重;湖泊应以水面面积作权重;水库以蓄水量作权重。本研究根据实际情况共选择 101 个能充分反映水功能区水体水质情况的水质代表断面,代表断面空间分布见图 2。



图 2 水功能区代表断面位置

Fig. 2 Positions of the representative sections in the water function zones

3 评价结果

3.1 水功能区水质状况

根据 2012 年水质双指标评价结果,101 个水功能区中以Ⅰ类水为主的共 46 个,占 45.5%;Ⅱ类水 35 个,占 34.7%;Ⅲ类水 8 个,占 7.9%;Ⅳ类水 4 个,占 4.0%;劣Ⅴ类水 8 个,占 7.9% (图 3)。

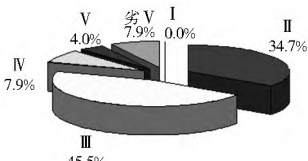


图 3 水功能区水质总体情况

Fig. 3 General water quality information of water function zones

3.2 水功能区按个数统计达标分析

按个数统计,研究区达标水功能区 65 个,未达标水功能区 36 个,达标率为 64.4%。由表 1 可以看出,一级水功能区共 50 个,达标 40 个,达标率为 80%;二级水功能区 51 个,达标 25 个,达标率为 49.0%。

经分析,一级水功能区达标率明显高于二级水功能区的原因,主要由于二级水功能区为水资源开发利用区,污染较重,一级水功能区中保护区和保留区较多,达标率较高。另外,各分类水功能区中保留区和渔业用水区的达标率最高,

表 1 水功能区达标情况

Tab. 1 Standard achievement status of the water function zones

水功能区分类	总个数	达标个数	达标率 (%)			
一级水功能区	保护区	40	34	85.0		
	保留区	6	6	100.0		
	缓冲区	4	0	0.0		
小计				50	40	80.0
二级水功能区	饮用水源区	13	9	69.2		
	工业用水区	4	3	75.0		
	农业用水区	19	7	36.8		
	渔业用水区	2	2	100.0		
	景观娱乐用水区	4	1	25.0		
	过渡区	5	2	40.0		
	排污控制区	4	1	25.0		
小计				51	25	49.0
合计				101	65	64.4

为 100%;其次为保护区,达标率为 85%;缓冲区没有一个达标。

根据水功能区达标情况的空间分布(图 4)可知,各地级行政区中,淮安市和扬州市水功能区达标率较高,分别为 93.8% 和 92.9%,该地区水功能区多数为水质较好的湖库和南水北调干线。其次是盐城市、宿迁市和连云港市,达标率分别为 76.9%、75% 和 60%。其他地级行政区水功能区达标率普遍较低,其中徐州市水功能区达标率最低,仅为 28.6%。

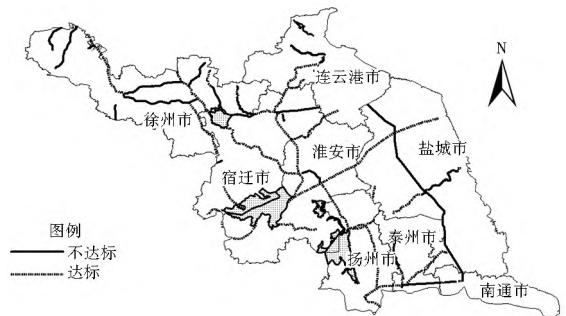


图 4 水功能区达标情况分布

Fig. 4 Distribution of standard achievement status of the water function zones

调查发现,徐州市水功能区达标率低的主要原因:一是省界河流上游来水水质较差;二是徐州市部分支流积存的工业污水进入运河,加重了运河的污染,如铜山境内的柳新河贾汪区屯头河、原不老河、邳州彭河等;三是城市城市生活污水不达标排放;四是农业面源污染严重。

3.3 水功能区按河长(面积)统计达标分析

水功能区按个数统计达标率只能反映水功能区达标个数情况,不能反映区域水体达标大小情况,因此还需按河长(面积)进行达标评价研究。水功能区按河长(面积)统计达标率结果见表 2。

由表 2 可以看出,河流河长总体达标率为 62.5%,湖库面积总体达标率为 98.2%。河流河长达标率中,除达标率为 100% 的保留区、渔业用水区和达标率为 0% 的缓冲区外,饮用水源区达标率最高,为 78.1%,与按个数达标率统计接近。

表 2 水功能区河长(面积)达标情况

Table 2 Standard achievement status by river length (or lake area)

水功能区	河流			湖库		
	总河长/km	达标河长/km	达标率(%)	总面积/km ²	达标面积/km ²	达标率(%)
一级水功能区	保留区	178.1	178.1	100.0	/	/
	保护区	1 225.5	842.5	68.7	4 269	4 253.1
	缓冲区	29.6	0	0.0	/	/
	小计	1 433.2	1 020.6	71.2	4 269	4 253.1
二级水功能区	饮用水源区	148.3	115.8	78.1	80.1	19.3
	农业用水区	453.1	159.2	35.1	/	/
	工业用水区	76.7	17.8	23.2	/	/
	渔业用水区	43.5	43.5	100.0	/	/
	景观娱乐用水区	12.9	3.3	25.6	/	/
	过渡区	23.3	13	55.8	/	/
	排污控制区	12.2	3	24.6	/	/
小计	770	355.6	46.2	80.1	19.3	
合计	2 203.2	1 376.2	62.5	4 349	4 272.4	

湖库类水功能区一级水功能区中保护区达标率较高,为 99.6%,与按个数统计的达标率接近。究其原因,主要是由于湖库类保护区大多位于水质较好的洪泽湖、骆马湖、邵伯湖、高邮湖、白马湖和宝应湖。

3.4 水功能区纳污能力及规划年限限制纳污

本文以 75% 和 90% 水文保证率的纳污能力作为 2020 年和 2030 年水域纳污能力,则流域内 101 个重要水功能区纳污能力分别为:2020 年 COD 5 21 万 t,氨氮 0 41 万 t;2030 年 COD 4 63 万 t,氨氮 0 36 万 t。

由于流域内 101 个水功能区的 COD 和氨氮的现状入河量分别为 COD 3 53 万 t,氨氮 0 45 万 t。根据式(4)可以确定规划年限限制排污总量分别为:2020 年 COD 4 35 万 t,氨氮 0 43 万 t;2030 年 COD 3 20 万 t,氨氮 0 25 万 t。

4 结论与建议

本文根据 2012 年水质监测数据,对江苏省淮河流域内 101 个水功能区按达标个数和达标河长(面积)分别进行达标评价,结果表明:按个数统计,区域达标率为 64.4%;按河长(面积)统计,河长达标率为 62.5%,面积达标率为 98.2%。同时,根据水功能区现状入河排污量和水域纳污能力,确定了水域规划水平年限限制入河排污量(COD 和氨氮)分别为:2020 年 COD 4.35 万 t,氨氮 0.43 万 t;2030 年 COD 3.20 万 t,氨氮 0.25 万 t。

评价过程中发现,在工业污染、农业面源污染和河道内源污染综合作用下,徐州地区达标率较低,建议对该区域进行综合整治。

(1) 对于工业污染源,需对其工业入河排污口进行整治。保护区、饮用水源区、南水北调输水干线和具有生态功能的水域禁止设置入河排污口;其他水域的入河排污口建议提高排放标准,严格达标排放制度。

(2) 由于农业面源污染分散性强,需以农村河道综合治理为主,积极推广配方肥、有机肥和缓释肥的应用。

(3) 河道内源污染主要有底泥、水产养殖和航运等污染途径,应根据当地具体实际情况,有组织地进行河道清淤,对

围网养殖进行清理,建立和完善船舶污染应急基地、码头等应急配备。

参考文献(References):

- [1] 周怀东,彭文启,杜霞,等.中国地表水水质评价[J].中国水利水电科学研究院学报,2004,2(4):255-264.(ZHOU Huai dong, PENG Wen qi, DU Xia, et al. Assessment of surface water quality in China [J]. Journal of China Institute Water Resource and Hydro power Research, 2004, 2(4): 255-264. (in Chinese))
- [2] 刘晨.关于水功能区管理的若干思考[J].中国水利,2004(4):19-20.(LIU Chen. Some thoughts on the management of water function zone [J]. China Water Resources, 2004(4): 19-20. (in Chinese))
- [3] 朱叶华,曾涛,杨军,等.综合水质指数法对长江沙市江段的水质评价[J].南水北调与水利科技,2010,8(5):122-124.(ZHU Ye hua, ZENG Tao, YANG Jun, et al. Water quality assessment in Shashi of the Tangtze River by comprehensive water quality index [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(5): 122-124. (in Chinese))
- [4] 燕敏飞,彭勇,王国利.基于熵权权重的可变模糊理论在大连市地下水水质评价中的应用[J].南水北调与水利科技,2012,10(3):58-61.(YAN Min fei, PENG Yong, WANG Guo li. Application of variable quality assessment of Dalian [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 58-61. (in Chinese))
- [5] 赖晓珍,张炎斋,冯英.关于水功能区水质评价方法的分析[J].治淮,2009(12):8-9.(LAI Xiao zhen, ZHANG Yan zhai, FENG Ying. Analysis on the water quality of water function area evaluation method [J]. Harnessing the Huaihe River, 2009(12): 8-9. (in Chinese))
- [6] 瞿光祥.用流量加权法计算河流水质监测指标平均值[J].水利技术监督,2009(3):13-14.(QU Guang xiang. Calculation of mean values of water quality parameters in the rivers by using weighted flow method [J]. Technical Supervision in Water Resources, 2009(3): 13-14. (in Chinese))

(下转第 82 页)

- [8] 杨为民, 吴树仁, 张永双, 等. 降雨诱发坡面型泥石流形成机理[J]. 地质前缘, 2007, 14(6): 197-204. (YANG Weimin, WU Shuren, ZHANG Yongshuang, et al. Research on formation mechanism of the debris flow on slope induced by rainfall[J]. Earth science frontier, 2007, 14(6): 197-204. (in Chinese))
- [9] 张永双, 曲永新, 何锋, 等. 秦巴山区宁陕县坡面型泥石流的形成机理[J]. 水文地质工程地质, 2005, 49(5): 84-88. (ZHANG Yongshuang, QU Yongxin, HE Feng, et al. Research on the formation mechanism of debris flow on slope around Ningshan County in the Hinterland of the Qinling Orogen[J]. Hydrogeology and engineering geology, 2005, 49(5): 84-88. (in Chinese))
- [10] 张永双, 吴树仁, 赵越, 等. 湖北省巴东县桐木园山坡型泥石流的形成机理及预警指标—以 2003-03-31 强降雨过程为例[J]. 地质通报, 2003, 22(10): 833-838. (ZHANG Yongshuang, WU Shuren, ZHAO Yue, et al. Formation mechanism of debris flow on the Tongmuyuan slope and its early warning index: a case study of the hard rain process on March 31, 2003 in Badong county, Hubei province[J]. Geological bulletin of China, 2003, 22(10): 833-838. (in Chinese))
- [11] 李艳富, 王兆印, 施文倩, 等. 汶川震区的坡面泥石流调查研究[J]. 泥沙研究, 2011, 55(1): 1-7. (LI Yanfu, WANG Zhaoyin, SHI Wenqian, et al. Investigation of slope debris flows in Wenchuan earthquake area[J]. Journal of sediment research, 2011, 55(1): 1-7. (in Chinese))
- [12] 彭涛, 徐刚, 夏大庆. 坡面泥石流暴发的自组织临界特性及其预测预报[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 104-108. (PENG Tao, XU Gang, XIA Daqing. Occurrence of slope debris flow as self-organization criticality and its prediction and forecast[J]. Bulletin of soil and water conservation, 2006, 26(3): 104-108. (in Chinese))
- [13] 曾凡伟, 徐刚, 李青, 等. 坡面泥石流发生的地貌信息初探—以重庆市北碚区为例[J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 402-406. (ZENG Fanwei, XU Gang, LI Qing, et al. Information of debris flow on hillslope: a case study in Beibei, Chongqing[J]. Chinese journal of soil science, 2005, 36(3): 402-406. (in Chinese))
- [14] 谢洪, 钟敦伦, 韦方强, 等. 北京山区泥石流的分类与类型[J]. 山地学报, 2004, 22(2): 212-219. (XIE Hong, ZHONG Dunlun, WEI Fangqiang, et al. Classification of debris flow in the mountains of Beijing[J]. Journal of mountain science, 2004, 22(2): 212-219. (in Chinese))
- [15] 刘希林. 试论泥石流动力作用与沟谷地貌演变的关系[J]. 地理科学, 1988, 8(4): 389-391. (LIU Xilin. Discussion on the relation between debris flow dynamics and evolution of gully geomorphology[J]. Scientia geographica sinica, 1988, 8(4): 389-391. (in Chinese))
- [16] 田明中, 程捷. 第四纪地质学与地貌学[M]. 北京: 地质出版社, 2009. (TIAN Mingzhong, CHENG Jie. Quaternary geology and geomorphology[M]. Beijing: geology press, 2009. (in Chinese))

(上接第 54 页)

- [7] 蓝中华. 水功能区达标评价的方法研究[J]. 中国新技术新产品. 2010(2): 1. (LAN Zhonghua. Study on the method of water function area evaluation[J]. China New Technologies and New Products, 2010(2): 1. (in Chinese))
- [8] 杜中, 陈月, 吴慧秀. 丹东水功能区达标率计算两种方法对比分析[J]. 辽东学院学报, 2013, 20(2): 85-87. (DU Zhong, CHEN Yue, WU Huixiu. Two methods for calculation of water function area standard reaching rate in Dandong comparison and analysis[J]. Journal of Liaodong University, 2013, 20(2): 85-87. (in Chinese))
- [9] 徐智廷, 李河海. SP 概化模型在临沂市水功能区纳污能力分析中的应用[J]. 水资源保护, 2007, 23(3): 27-29. (XU Zhitang, LI Hehai. Application of SP generalized model to analysis of water environmental capacity in Linyi water function area[J]. Water Resources Protection, 2007, 23(3): 27-29. (in Chinese))
- [10] 柯斌樑, 劳国民. 浙江省水功能区纳污能力分析计算探讨[J]. 浙江水利科技, 2014(3): 11-15. (KE Binliang, LAO Guomin. Analysis and calculation of water environment capacity in water function area in Zhejiang province[J]. Zhejiang Hydropower, 2014(3): 11-15. (in Chinese))
- [11] 林金. MIKE11 模型在台州市区河网纳污能力计算中的应用[J]. 浙江水利水电学院学报, 2014, 26(1): 13-18. (LIN Jin. Evaluation of assimilative capacity in river network based on MIKE11[J]. Journal of Zhejiang water conservancy and hydropower college, 2014, 26(1): 13-18. (in Chinese))
- [12] GB 3838-2002, 中华人民共和国地表水环境质量标准[S]. (GB 3838-2002, Surface water quality standards of the People's Republic of China[S]. (in Chinese))
- [13] SL 395-2007, 地表水环境质量评价技术规程[S]. (SL 395-2007, Technological regulations for surface water resources quality assessment[S]. (in Chinese))
- [14] 王超, 朱党生, 程晓冰. 地表水功能区划分系统的研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2002(5): 7-11. (WANG Chao, ZHU Dangsheng, CHENG Xiaobing. Surface water function regionalization system[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2002(5): 7-11. (in Chinese))